

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-128078

(43) 公開日 平成7年(1995)5月19日

(51) Int. Cl.⁶

G 0 1 C 19/72

識別記号

片内整理番号

F I

技術表示箇所

J 9402-2F

M 9402-2F

審査請求 有 発明の数 1 書面 (全 20 頁)

(21) 出願番号

特願平6-50555

(62) 分割の表示

特願昭58-500499の分割

(22) 出願日

昭和57年(1982)11月1日

(71) 出願人 591148484

ザ・ボード・オブ・トラステーズ・オブ・ザ・レランド・スタンフォード・ジュニア・ユニバーシティ

THE BOARD OF TRUSTEES OF THE LELAND STANFORD JUNIOR UNIVERSITY

アメリカ合衆国、カリフォルニア 94304
-1850, パロ アルト, スウィート 350,
ウエルチロード 900

(74) 代理人 弁理士 岡部 正夫 (外 5 名)

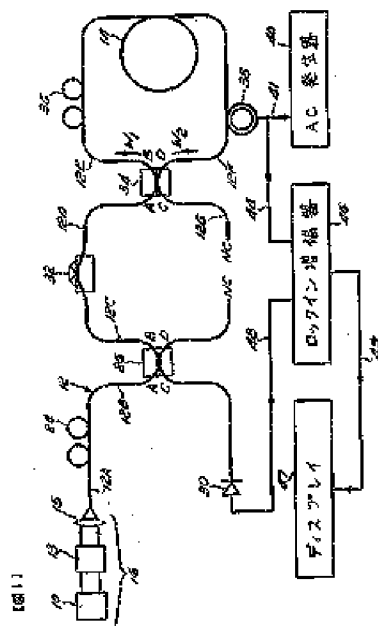
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 カー効果補償を伴う干渉計

(57) 【要約】

【目的】 ファイバ光学リング干渉計において、カー効果で誘起された位相差を去除く手法を提供する。

【構成】 カー効果に起因した誤差が多重モード光源、ファイバ光学ケーブルそして光源からの光をループに結合する結合器とを用いて減少又は消去される。その多重モード光源は各モードの光信号の和であり複数の周波数を有する総和光信号を放射するものであり、その結合器はループに反対方向に伝播する第1と第2の光源を与えるものである。本発明の特徴事項は、光源から放射される光の総和信号の境界の振幅が次のような関係となるようにされている。即ち、総和光信号の強度の2乗の平均値と総和光信号の強度の平均値の2乗の2倍との間の差が十分小さくなるようにし、カー効果に起因する回転速度誤差を時間当たり0.1度以下の値になるよう減少させそれにより光波の平均伝播定数の差が減じられている。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 ファイバ光学リング干渉計におけるカー効果誘起された誤差を減少させるための方法であって、カー効果誘起された誤差を補償するために選択されたデューティサイクルを生ずる前記モード間の干渉を引き起こすために十分な数の振動モードを有する光源（10）を選択するステップと、

2つの互いに反対方向に伝播する波がそこを通過するように前記光源（10）から干渉計（14）へ光を結合するステップとを含み、前記互いに反対方向に伝播する波は、前記干渉計の回転にตอบสนองして位相偏移を受け、

互いに反対方向に伝播する波を結合して（34）干渉パターンを生じるステップと、

前記干渉パターンにおける強度の変化を検出して（30）前記干渉計の回転速度を測定するステップとをさらに含む、方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の背景】この発明はファイバ光学干渉計に関し、より特定的には、回転感知のためのファイバ光学リング干渉計に関するものである。

【0002】ファイバ光学リング干渉計は、典型的には、ファイバ光学材料からなるループを備えており、光波はそのループに結合され、さらにそのループに沿ってそれぞれ反対方向に伝播する。ループを通過した後、互いに反対方向に伝播する波は結合され、このためそれらの波は建設的にまたは破壊的に干渉して光学出力信号を形成する。この光学出力信号の強度は、干渉の形式および量の関数として変化する。これは、次に、互いに反対方向に伝播する波の相対位相に依存している。

【0003】リング干渉計は、回転感知に特に有用であることが証明されている。ループの回転は、位相差の総計が回転の速度に対応する。周知の“サグナック（Sagnac）”効果に従って、互いに反対方向に伝播する波の間の相対的な位相差を生み出す。再結合されたときに、互いに反対方向に伝播する波の干渉によって生じる光学出力信号は、ループの回転速度の関数として強度を変化させる。回転感知は、この光学出力信号の検出によって完了する。

【0004】リング干渉計が、慣性航法に必要とされるよりも実質的により良好な回転感知精度（たとえば、1時間あたり0.001°またはそれ以下）を与えることができるべきであることを数学上の計算が示す一方で、実際に達成される結果は一般的には理論上の予想と一致してはいない。理論上および実際の結果の間の不一致に対するいくつかの理由は、レイリー（Rayleigh）の後方散乱によって起こされる見かけ上の波、および幾何学的なファイバの複屈折によって生じ、非回転的に誘起された位相差を含むものとして確認されている。

【0005】より最近においては、回転感知の精度はまた、A. C. カー効果（Kerr Effect）によっても制限されるということが発見された。A. C. カー効果とは周知の光学的な効果であり、変化している電界に物質を置いたときにその物質の屈折率が変化するという効果である。光ファイバにおいて、そこを通過して伝播する光波の電界自身が、カー効果に従ってファイバの屈折率を変化させることができる。変化の大きさは、電界の2乗または光強度に比例する。波の各々に対するファイバの伝播定数は屈折率の関数であるので、カー効果はそれ自体、伝播定数の強度依存の摂動であることは明白である。そのような摂動が互いに反対方向に伝播する波の各々に対して正確に同一となるよう起こらなければ、A. C. または光学カー効果は、波を異なる速度で伝播させ、これは波の間の非回転的に誘起された位相差をもたらす、かつこれによって見かけ上の信号を作り出し、これは回転によって誘起された信号から区別することができない。この見かけ上の、カー誘起された信号は、現在の、技術的現状におけるファイバ光学回転感知干渉計における長期間ドリフトの主な原因である。このように、ファイバ光学干渉計、特に、慣性航法級の回転センサのような高い送信精度を要するものにおいて、カー誘起された位相差を減少または排除が必要がある。

【0006】

【発明の概要】この発明は、カー効果によって起こされる誤差が光源を用いることによって減少されまたは排除される回転感知干渉計を含み、この光源は、いくつかの異なる波長を有し、単一モードの光ファイバからなるループを含むジャイロスコープに光を与える振動モードを含む出力を供給する。もしも互いに反対方向に伝播する波の各々が、50%のデューティサイクルを有していれば、カー効果誤差が排除されまたは実質的に減少されることが発見されている。異なる波長は互いにぶつかりあって反対方向に伝播する波に強度の変化を引起し、これは各々の波に対して50%のデューティサイクルをもたらす。もしも、反対方向に伝播する波が多重モードの光源から始まるならば、干渉計ループを通過する間に各々の波によって積算された、カー誘起された位相偏移の、不可逆性の、強度加重平均が、モードの数に逆比例して変化する、したがって完全なカー効果補償をもたらすことになる。

【0007】ここで用いられるように、“多重モードの光源”という用語は、複数の周波数を発生する光源のことを言い、実質的に単一周波数で光を発生する単一モードの光源に対するものである。

【0008】単一モード光ファイバは、所定の波長の範囲内でただ1つの横方向のパワー配分（transverse power distribution）を有している。しかしながら、単一モードファイバは、同時にいくつかの波長を誘起し、すべての誘起された波長は、電界ベクトルが伝播の方向に対

して直角であるトランスバースエレクトリック (transverse electric) すなわち TE のような同一の横方向のパワー配分を有する。この発明の回転センサは、互いに反対方向に伝播する波をループに導入するファイバ光学結合器を含む。ループを通過した後に、波は結合器において再結合されて干渉パターンを形成する。振動モードは結合器において再結合し、このため、対応する反対方向に伝播するモードは互いに干渉し合い、サグナック位相偏移がそこから測定される干渉パターンを生じる。

【0009】この発明の第2の実施例は、50%よりも大きなデューティサイクルをもたらす多重モード光源と、多重モード出力を変調してループへの入力のために50%のデューティサイクルを有する光信号を発生する変調器とを含んでいる。この発明によるカー効果に対する補償によって、感知誤差の主な原因は、実質的に減少されまたは取除かれる。この発明によるカー効果補償は、ジャイロスコープに使用する慣性航法級のファイバ光学回転センサの開発における大きな隘路であると思われる。

【0010】

【実施例】カー効果補償手段に加えて、この発明の好ましい実施例はまた、回転速度を示す光学出力信号の強度を検出するための同期検出システムと、ファイバループにおける光の偏光を維持する偏光制御システムとを含んでいる。これらのシステムは、オプティクスレターズ (Optics Letters) 第15巻第11号(1980年11月)の488頁ないし490頁において、および1982年3月31日に出願された国際特許出願番号PCT/US82/00400において説明されており、これらは援用されてここに含まれている。そこに描かれている偏光制御および同期検出システムは、この発明のカー効果補償に使用するのに適切であり、かつここに描かれた回転感知干渉計の全体的な性能に言及している。好ましい実施例がこれらのシステムを援用してまず説明され、さらに引き続いて、特にカー効果補償に関する詳細な説明がなされる。しかしながら、この発明のカー効果補償は一般的な適用を有しており、かつ好ましい実施例を援用して説明した形式以外のリング干渉計にも利用されるということが始めに理解されるべきである。

【0011】図1に示されるように、好ましい実施例の回転感知干渉計は、光ファイバ12の連続的な長さまたはストランドに光を導入する光源10を含み、光ファイバ12の一部分は曲げられて感知ループ14になる。ここで用いられるように、参照番号12は一般的に、光ファイバの連続するストランドの全体を示し、一方で後に文字(A, B, Cなど)を伴う数字12は、光ファイバ12の各部を示す。

【0012】示された実施例において、光源10は好ましくは、複数のモードにおいて誘導放出の原理に従って動作する超放射ダイオード(super-radiant diode)

または超発光ダイオード(super luminescent diode)を含む。特定の例によると、光源10は、1982年10月1日のAppl. Phys. Lett., 41(7)の587頁ないし589頁において、Wang et al. によって説明されたGaAlAs 2重-異構造超放射レーザー(double-heterostructure laser)を含んでいる。

【0013】ファイバ光学ストランド12は、たとえば、80ミクロンの外径および4ミクロンのコア直径を有する単一モードファイバを含む。ループ14は、複数回巻かれたファイバ12を含み、スプールまたは他の適切な支持体(図示せず)のまわりに巻付けられる。特定の例によると、ループ14は14センチメートルの直径を有する形状に曲げられたほぼ1000巻のファイバを有している。

【0014】好ましくは、ループ14は、中央から始まって対称的に曲げられ、このためループ14の各対称点は極めて接近している。特定の例に、ループ14の中央部分の巻きがスプールに隣接して最も深いところに位置付けられるようにファイバがスプールのまわりに巻付けられかつ、ファイバループ14の両端部が中央の巻きのまわりに対称的に位置付けられかつループ14の外側に自由に近づくことが可能であるようにループの端部に向う巻きがスプールから最も離れて配置されている。そのような対称形は、時間によって温度および圧力勾配を変化させて、互いに反対方向に伝播する波の双方に対し同様の効果を与えるので、これは回転センサの標度の感度を弱めるものと思われる。

【0015】光源10からの光は、レンズ15によってファイバ12の一端に光学的に結合される。レーザー10およびレンズ15は、光源16として集合的に示される。光を導きかつ処理する種々の構成要素が、連続的なストランド12に沿って様々な位置に配置されあるいは形成されている。これらの構成要素の相対的な位置を説明するために、連続的なファイバ12は、各々12Aから12Gとして示された7つの部分に分割されて示され、部分12Aないし12Eはループ14の、光源16に結合されている片側の上であり、部分12Fおよび12Gは、ループ14の反対側の上にある。

【0016】光源16に隣接して、ファイバ部分12Aおよび12Bの間に、偏光コントローラ24が存在する。コントローラ24として用いられる偏光コントローラの適切な形式は、エレクトロニクスレターズ (Electronics Letters) 第16巻第20号(1980年9月25日)の778頁ないし780頁において説明されており、これは援用されてここに含まれている。偏光コントローラ24の説明が引き続きなされるが、しかしながら、コントローラ24が与えられた光の偏光の状態および方向の双方を調整させるということが現時点で理解されるべきである。

【0017】ファイバ12はその後、ファイバ部分12

Bおよび12Cの間に位置する、方向性結合器26の、AおよびBとして示されたポートを介して通過するが、この方向性結合器26は、結合器26のCおよびDとして示されたポートを介して通過する光ファイバ28の第2のストランドに光学パワーを結合し、このポートCは結合器の、ポートAと同じ側部にあり、かつポートDは結合器の、ポートBと同じ側部に存在する。ポートDから延びるファイバ28の端部は、“NC”（“結合されていない”という意味である）として示されたポイントに無反射的に到達し、一方でポートCから延びるファイバ28の一端は光検出器30に光学的に結合される。特定の例によると、光検出器30は、標準的な、逆バイアスされた、シリコン、ピンタイプフォトダイオードを含んでいる。この発明に用いるのに適した結合器は、発行番号0038023として、1981年10月21日の公報番号81/42において発行された、ヨーロッパ特許出願番号81、102677、3において開示されており、これは援用されてここに含まれている。

【0018】偏光子32を介して通過した後、ファイバ12は、ファイバ部分12Dおよび12Eの間に位置する方向性結合器34の、AおよびBとして示されたポートを介して通過する。結合器34は好ましくは結合器26に関して説明したものと同一の形式である。ファイバ12はその後曲げられてループ14となり、ループ14とファイバ部分12Fとの間に偏光コントローラ36が配置される。偏光コントローラ36は、コントローラ24について述べられた形式のものであり、かつループ14を介して互々反対方向に伝播する波の偏光を調整するために利用され、このため、これらの波の重ね合わせによって形成される光学出力信号は、光学パワーの損失を最小限にしなが

ら、偏光子32によって効率的に通過させられる偏光を有している。このように、偏光コントローラ24、36の双方を利用することによって、ファイバ12を介して伝播する光の偏光が、最大限の光学パワーを得るように調整される。

【0019】位相変調器38は、AC発生器40によって駆動され、ライン41によってそこに接続されるが、ループ14およびファイバ部分12Fの間で、ファイバ12上に装着されている。変調器38は、PZTシリンダを備え、そのまわりにファイバ12が巻付けられている。ファイバ12はシリンダにたく巻付けられており、このため、発生器40からの変調信号に応じてシリンダが放射状に揺がるときに、シリンダはファイバ12を引き延ばす。この発明に用いるのに適切な、他の形式の位相変調器（図示せず）は、PZTシリンダを含み、それはシリンダの両端において毛細管の長手に短く巻付けられたファイバ12の4つのセグメントを長手方向に引き延ばす。当業者は、上述の他の形式の変調器が、変調器38よりもより低い程度の偏光変調を、伝播している光学信号に与えることを認識するであろうが、

しかしながら、位相変調器38は位相変調器によって誘起された偏光変調の望ましくない影響を排除し周波数で動作するということが引き続き認識されるであろう。このように、いずれの形式の位相変調器もこの発明に使用するのに適している。

【0020】ファイバ12はその後、結合器34のCおよびDとして示されたポートを介して通過し、ファイバ部分12FはポートDから延びかつファイバ部分12GはポートCから延びる。ファイバ部分12Gは“NC”（“結合されていない”という意味である）として示されたポイントまで無反射的に到達する。A、C、発生器40からの出力信号はロックイン増幅器46へのライン44上に与えられ、この増幅器はまたライン48によって光検出器30の出力を受取るように接続されている。増幅器46へのこの信号は、増幅器46を能動化するための基準信号を供給し、位相変調器38の変調周波数において検出器出力信号を同期的に検出する。このように、増幅器46は、位相変調器38の基本周波数（すなわち第1の高調波）においてバンドパスフィルタを効率的に提供し、この周波数の他のすべての高調波を遮断する。検出された信号は、典型的には1秒ないし1時間のオーダの時間間隔にわたって積分され、平均化してランダムノイズを排除く。検出器出力信号のこの第1の高調波成分の大きさは、動作レンジを通して、ループ14の回転速度に比例する。増幅器46は、この第1の高調波成分に比例する信号を出力し、かつ回転速度の直接の指示を与え、これは増幅器出力信号をライン49上のディスプレイパネル47に与えることによって、ディスプレイパネル47上に視覚的に表示される。

【0021】結合器26および34

この発明の回転センサまたはジャイロスコープにおいて結合器26および34として使用される好ましいファイバ光学方向性結合器は、図2に描かれている。この結合器は、単一モードファイバ光学材料の2つのストランド50Aおよび50Bを含んでおり、これらはそれぞれアーチ状の溝52Aおよび52Bの中に長手方向に取付けられている。この溝52Aおよび52Bは、それぞれ、矩形的ベースすなわちブロック53Aおよび53Bの光学的に平坦な相対する表面に形成されている。溝52Aの中にストランド50Aが取付けられたブロック53Aを結合器の片側51Aと呼び、溝52Bの中にストランド50Bが取付けられたブロック53Bを結合器の片側51Bと呼ぶことにする。

【0022】アーチ状の溝52Aおよび52Bは、ファイバ50の直径に比べて非常に大きな曲率半径を有し、さらにファイバの直径よりも少し大きな幅を有することによって、ファイバ50をその中に取付けたときに、溝52の底壁によって定められる経路に従って固定されるようになっている。溝52Aおよび52Bの深さは、ブロック53Aおよび53Bの中心部分における最小値か

ら、ブロック53Aおよび53Bのエッジにおける最大値まで、それぞれ変化している。これは、ファイバ光学ストランド50Aおよび50Bをそれぞれ溝52Aおよび52Bの中に取付けたとき、これらが中心部分に向かってゆるやかに集まり、ブロック53A、53Bのエッジに向かってゆるやかに広がることによって、モードの振動を逼してパワーの損失を発生することがある、ファイバ50の方向におけるどのような鋭い湾曲や急激な変化も防止することができるという利点を持っている。示された実施例において、溝52は断面が矩形となっているが、この代わりに、たとえばU型の断面やV型の断面といった、ファイバ50によって都合の良い、他の適当な断面の輪郭も用いられてもよいことが理解されよう。

【0023】ここに示されている実施例においては、ブロック53の中心部分において、ストランド50を取付ける溝52の深さはストランド50の直径よりも小さくなっており、一方、ブロック53のエッジにおいて溝52の深さは好ましくは少なくともストランド50の直径と同じ大きさとなっている。ストランド50Aおよび50Bからは、たとえばラッピングによって、ファイバ光学材料が取除かれており、これによってそれぞれ楕円形の平坦な表面を形成するが、この平坦な表面はブロック53A、53Bの相対する平面と同一平面上に存在することになる。ここではこの、ファイバ光学材料が取除かれた楕円形の表面を、ファイバ“対向表面(facing surface)”と呼ぶことにする。したがって取除かれたファイバ光学材料の量は、ブロック53のエッジの方向におけるりからゆるやかに増大し、ブロック53の中心部分の方向で最大値となる。ファイバ光学材料を先細に取除くことによって、ファイバがゆるやかに狭くなり、また、広くなり、これは、後方反射と光エネルギーの損失が過剰になることを防止するために有利である。

【0024】ここに示した実施例においては、結合器の片側51Aおよび51Bは同一のものであって、ブロック53Aおよび53Bの表面が互いに相対するように設置し、ストランド50Aおよび50Bの対向表面が対向する関係にあるように並べることによって組立てられる。

【0025】屈折率整合オイルのような屈折率整合物質(図示せず)を、ブロック53の相対する表面の間に配置する。この物質は、クラッドの屈折率とほぼ等しい屈折率を有しており、さらに光学的に平坦な表面が互いに永久的にロックされてしまうことを防止するという機能をも果たすものである。このオイルは、毛細管作用によってブロック53の間に入れられる。

【0026】相互作用領域54はストランド50の接合部に形成されるが、ここではエバネセントフィールド結合によってストランドの間で光が転送される。適当なエバネセントフィールド結合を保證するためには、ストランド50のコア部分の間の距離が、予め定められた“臨

界ゾーン”の中に入っているように、ファイバ50から取除かれる材料の量を注意して制御しなければならないということが判明している。このエバネセントフィールドはクラッドの中に拡がり、それらのそれぞれのコアの外側では距離が大きくなるとともに急速に減少する。このためそれぞれのコアが実質的に他方のエバネセントフィールドの中にあるようにするためには、十分な量の材料を取除く必要がある。取除く量が少なすぎる場合には、コアの間の接近が十分でなく、エバネセントフィールドに、誘導されたモードの間の所望の相互作用を生じさせることができず、その結果、結合が不十分となる。逆に、取除く量が多すぎる場合にはファイバの伝播特性が変わって、モード振動に起因する光エネルギーの損失が起こる。しかしながら、ストランド50のコアの間の距離が臨界ゾーン内にあれば、それぞれのストランドは、他のストランドからのエバネセントフィールドエネルギーの有意な一部分を受取り、さらに、重大なエネルギー損失なしに良好な結合を達成することができる。この臨界ゾーンは、ファイバ間の結合が達成されるような、すなわちそれぞれのコアが他のエバネセントフィールドの中にあることになるような十分な強さでファイバ50Aおよび50Bのエバネセントフィールドが重なる領域を含んでいる。しかしながら、前に示したように、コアの間があまりにも接近しすぎると、モード振動が発生してしまう。たとえば、弱く誘導されたモードたとえば単一モードファイバの中のTE₁₁モードに対しては、このようなモード振動は、ファイバ50から十分な物質が取除かれてそれらのコアを露出したときに発生し始めるものと考えられている。このため、臨界ゾーンは、エバネセントフィールドが十分な強さで重なり合うが、実質的なモード振動によって誘起されるパワー損失は生じないような結合を発生させる領域として定義される。

【0027】特定の結合器に対する臨界ゾーンの範囲はファイバ自身のパラメータや結合器の幾何学的な形状などのような、互いに関係を持った多くのファクタに依存している。さらにステップインデックス断面を持つ単一モードファイバに対しては、この臨界ゾーンは非常に狭いものとなることが可能である。ここに示した形式の単一モードファイバ結合器においては、結合器の中心部におけるストランド50の間の中心間距離は、典型的にはコアの直径の数倍(たとえば2-3倍)よりも小さいものが要求される。

【0028】好ましくは、ストランド50Aおよび50Bは、(1)互いに同一のものであり；(2)相互作用領域54において同じ曲率半径を持ち、そして；(3)それからは等量のファイバ光学材料が取除かれてそれぞれの対向表面を形成している。したがって、ファイバ50は、相互作用領域54を逼して、それらの対向表面で対称的なものとなっており、このため、それらの対向表面は、重ねられたときに同一の拡がりを持っており、こ

れによって2つのファイバ50Aおよび50Bは相互作用領域54において同じ伝播特性をも持つことになり、それによって、伝播特性が異なっている場合に生じる結合吸収を防止することができる。

【0029】ブロックすなわちベース53は、適当な剛性材料であればどのようなものから作られていてもよい。ここでの好ましい実施例では、ベース53は、約1インチの長さ、約1インチの幅そして約0.4インチの厚さを持った、熔融石英ガラスの矩形ブロックを一般に備えている。この実施例では、ファイバ光学ストランド50はエポキシ接着剤のような適当な接着剤によってスロット52の中に固定されている。熔融石英ガラスブロック53を用いることの利点のうちの1つは、それがガラスファイバと同様の熱膨張係数を持っていることであり、この利点は、ブロック53とファイバ50とが、製造プロセスの間において少しでも熱処理を受ける場合には、特に重要なものである。ブロック53として適当な他の材料はシリコンであり、これもまた、この応用のための優れた熱的性質を持っている。

【0030】結合器は、図2においてA、B、CおよびDとして示された4つのポートを含んでいる。図2を全体的に見ると、それぞれストランド50Aおよび50Bに対応するポートAおよびCはこの結合器の左側にあり、一方ストランド50Aおよび50Bにそれぞれ対応するポートBおよびDはこの結合器の右側にある。以下の議論の便宜上、入力光はポートAに与えられているものとする。この光は結合器を通過してポートBおよび/またはポートDから出力されるが、この出力はストランド50の間で結合されるパワー量に依存している。これに関して、“正規化され結合されたパワー”を、全出力パワーに対する結合されたパワーの比として定義する。上述した例では、この正規化され結合されたパワーは、ポートBおよびDにおけるパワー出力の総計に対するポートDのパワーの比に等しくなるであろう。この比はまたは、“結合効率”とも呼ばれ、この用語を用いる場合には通常パーセントで表現される。したがって、“正規化され結合されたパワー”なる用語をここで用いる場合には、これに対応する結合効率は、この正規化され結合されたパワーを100倍にしたものと等しくなるものと考えられなければならない。このことに関しては、図2において示された形式の結合器が100%に達する結合効率を有していることをテストが示している。しかしながら、結合器は、ブロック53の対向表面をずらすことによって、結合効率を0および最大値の間のどのような所望の値にもあわせるように“調節”される。そのような調節は、好ましくは、ブロック53を互いに水平方向に滑らせることによって行なわれる。

【0031】結合器は高い方向性を有しており、結合器の一端に与えられたパワーのほとんどすべてが結合器の他の側に伝えられる。すなわち、入力ポートAに与えら

れた光のほとんどすべては、出力ポートBおよびDに伝えられ、ポートCへの逆方向性結合は発生しない。同様に、入力ポートCに与えられた光のほとんどすべては、出力ポートBおよびDに伝えられる。さらに、この方向性は対称的である。このように、入力ポートBまたは入力ポートDのいずれかに与えられた光は、出力ポートAおよびCに伝えられる。さらに、結合器は偏光に関しては本質的に区別しないため、したがって、結合された光の偏光を保存する。したがって、たとえば垂直偏光を有する光ビームがポートAに入力した場合、ポートAからポートBに直進して通過した光と同様に、ポートAからポートDに結合された光は、垂直偏光された状態に維持する。

【0032】前述の記載から、結合器は与えられた光を2つの互いに反対方向に伝播する波W1、W2（図1）に分割するビームスプリッタとして機能することを知ることができる。さらに、結合器は、反対方向に伝播する波がループ14（図1）を通過した後、さらに再結合するように機能する。

【0033】示された実施例において、結合器26、34の各々は、約50%の結合効率を有しており、これは光検出器30（図1）に最大の光学パワーを供給する。ここに用いられたように、用語“結合効率”は、出力パワー全体に対する結合されたパワーのパワー比として定義され、パーセントで表わされる。たとえば、図2を参照すると、ポートAに光が与えられたとすると、結合効率は、ポートDにおけるパワーの、ポートBおよびDにおけるパワー出力の合計に対する比に等しくなる。“結合比率”または“分割比率”なる用語は、結合効率を100で割ったものとして定義される。したがって、50%の結合効率は、0.5の結合比率または分割比率に等しい。

【0034】偏光子32

図1の回転センサにおいて使用する好ましい偏光子32は、図3において描かれており、かつオプティクスレターズ（Optics Letters）の第5巻第11号（1980年11月）の479頁ないし481頁において説明されており、援用されてここに含まれている。偏光子32は、ファイバ12によって伝送された光のエバネセントフィールド内に配置された、複屈折結晶60を含んでいる。ファイバ12は、一般的に矩形の石英のブロック64の上部表面63に向って開くスロット62に装着されている。スロット62は、アーチ状に曲げられた底壁を有しており、さらにファイバは、この底壁の輪郭に沿うようにスロット62に装着されている。ブロック64の上部表面63は、ラップされて領域67におけるファイバ12からクラッドの部分を取除く。結晶60は、その下部表面68をブロック64の上部表面63と対向させながら、ブロック64上に取付けられ、ファイバ12のエバネセントフィールド内で結晶60の位置を決める。

【0035】ファイバ12および複屈折材料60の相対的な屈折率は、複屈折結晶60における所望の偏光モードの波の速度がファイバ12におけるそれよりも大きく、一方で、ファイバ12における望ましくない偏光モードの波の速度が複屈折結晶60におけるそれよりも大きくなるように選ばれる。所望の偏光モードの光はファイバ12のコア部分によってそのまま誘導され、これに反して、望ましくない偏光モードの光は、ファイバ12から複屈折結晶60に結合される。したがって、偏光子32は、1つの偏光モードにある光を通過させ、一方で他の偏光モードにある光の通過を阻む。先に指摘したように、偏光コントローラ24、36(図1)は、与えられた光および光学出力信号の各々の偏光を調整するために使用され、これによって偏光子32を介する光学パワーの損失は最小限に抑えられる。

【0036】偏光コントローラ24、36

図1の回転センサにおいて用いるのに適した偏光コントローラの1つの形式が図4に描かれている。このコントローラはベース70およびこの上に設置された複数の直立ブロック72Aないし72Dを含んでいる。ブロック72のうちの隣接したブロックの間には、スプール74Aないし74Cが、それぞれシャフト76Aないし76Cの上に沿って設置されている。このシャフト76は互いに1つの軸に沿って配列されており、ブロック72の間で回転可能に取付けられている。スプール74は、一般的に円筒形であって、シャフト76に沿って位置決めされ、スプール74の軸はシャフト76の軸に対して直角となっている。ストランド12は、シャフト76の軸の内孔に沿って延びており、スプール74のそれぞれのまわりに巻かれて3つのコイル78Aないし78Cを形成している。コイル78の半径は、ファイバ12が押し付けられてコイル78のそれぞれにおいて複屈折媒体を形成するように定められる。この3つのコイル78Aないし78Cは、シャフト74Aないし74Cの軸のまわりで互いに独立に回転して、ファイバ12の複屈折を調整し、それによって、ファイバ12を通過する光の偏光を制御することができるようになっている。

【0037】コイル78での巻回の直径および巻数は、外側のコイル78Aおよび78Cが4分の1波長の空間的な遅延を与え、一方、中央コイル78Bが2分の1波長の空間的な遅延を与えるように定められる。4分の1波長コイル78Aおよび78Cは偏光の楕円性を制御し、2分の1波長コイル78Bは偏光の方向を制御する。これによって、ファイバ12を通過する波の偏光状態を全範囲で調節することができる。しかしながら、この偏光コントローラを変形して、2つの4分の1波長コイル78Aおよび78Cのみを設けるようにしてもよいことがわかるであろう。それは、(そうでない場合に中央のコイル78Bで与えられる)偏光の方向は、2つの4分の1波長コイル78AおよびCを用いて、偏

光の楕円性を適当に調節することを追って、間接的に制御することもできるからである。このため、図1に示した偏光コントローラ24および36は、2つの4分の1波長コイル78Aおよび78Cのみを含んでいる。このような配置をすることによってコントローラ24-36の全体的なサイズを小さくすることができるため、空間的に制限されているような特定の用途に、この発明を適用するときには、有利となる。

【0038】したがって、偏光コントローラ24および36は、与えられた光および互いに反対方向に伝播する波の双方の偏光を確立し、維持し、かつ制御するための手段を提供する。

【0039】位相変調器または偏光制御を伴わない動作

偏光子32(図1)および位相変調器38の機能および重要性を完全に理解するために、あたかもこれらの構成要素がシステムから取除かれたような形で、回転センサの動作が最初に説明される。したがって、図5は、変調器38、偏光子32および関連する構成要素がそこから取除かれた図1の回転センサを、概略ブロック図の形式で示すものである。

【0040】光は光源16からファイバ12へ結合されて、そこを通過して伝播する。光は結合器26のポートAに入り、そこでは光の一部はポートDを介して失われる。光の残りの部分は結合器26のポートBから結合器34のポートAまで伝播し、そこで光は、2つの互いに反対方向に伝播する波W1、W2に分割され、波W1はポートBからループ14に沿って右回りの方向に伝播し、一方で波W2はポートDからループ14に沿って左回りの方向に伝播する。波W1、W2がループ14を通過した後に、それらは結合器34によって再結合されて光学出力信号を形成し、それは結合器34のポートAから結合器26のポートBへ伝播する。この光学出力信号の一部は結合器26のポートBからポートCに結合され、ファイバ28に沿って光検出器30へ伝播する。この光検出器30は、光学出力信号によってその上に与えられた光の強度に比例する電気信号を出力する。

【0041】光学出力信号の強度は、波W1およびW2がループ14のまわりの結合器経路において再結合されまたは重ね合わされたときの波W1およびW2の間の干渉の大きさおよび形(すなわち、建設的かまたは破壊的か)にしかって変化する。したがって、ループ14が静止状態にあるものとする、波W1、W2が結合器34において再結合されたときに、これらの波はそれらの間で位相差を生じさせずに建設的に干渉し、さらに光学出力信号の強度は最大になるであろう。しかしながら、ループ14が回転状態にあるときに、互いに反対方向に伝播する波W1、W2は、サグナック効果に従って位相偏移され、このため、それらが結合器34において重ね合わされたときに、それらは破壊的に干渉して光学出力

信号の強度を弱める。ループ14の回転によって生じる、波W1、W2の間のサグナック位相差は、以下の関係によって定義される。

*【0042】
【数1】

$$\phi_{ws} = \frac{8\pi NA}{\lambda c} \Omega \quad (1)$$

【0043】ここで、Aは光ファイバのループ14によって囲まれた面積であり、Nは領域Aのまわりの光ファイバの巻数であり、 Ω は、ループの平面に対し直角的な軸に関するループの角速度であり、 λ およびcは各々、ループに与えられた光の波長および速度の自由空間値である。

※【0044】光学出力信号(i₁)の強度は、波W1、W2の間のサグナック位相差(ϕ_{ws})の関数であり、さらに以下の方程式によって定義される。

【0045】
【数2】

$$I_T = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \phi_{ws} \quad (2)$$

【0046】ここで、I₁およびI₂は、各々波W1、W2の個々の強度である。方程式(1)および(2)から、光学出力信号の強度が回転速度(Ω)の関数であることがわかる。したがって、そのような回転速度の表示は、検出器30を用いて光学出力信号の強度を測定することによって得られる。

【0047】図6は曲線80を示し、これは、光学出力信号(i₁)と、互いに反対方向に伝播する波W1およびW2の間のサグナック位相差(ϕ_{ws})との間の関係を示している。曲線80は、余弦関数の曲線の形をしており、かつ光学出力信号の強度は、サグナック位相差(ϕ_{ws})が0のときに最大値となる。

【0048】もしも、反対方向に伝播する波W1およびW2の間の位相差の唯一の原因がループ14の回転であるとする、曲線80は垂直軸に関して対称形に変化する。しかしながら、実際には、反対方向に伝播する波W1およびW2の間の位相差は、ループ14の回転によってのみならず、光ファイバ12の残りの部分の複屈折によっても引き起こされる。ファイバ複屈折は、単一モードファイバ12の2つの偏光モードの各々に異なる速度で光を伝播させる傾向があるので、複屈折による位相差が生じる。これは、波W1およびW2の間の、不可逆性の、非回転的に誘起された位相差を作り出し、これは、たとえば点鎖線で示された曲線82によって描かれるように、図6の曲線80を歪めまたは偏移するような態様で、波W1、W2に干渉を起こさせる。このような複屈折誘起された、不可逆性の位相差は、回転的に誘起されたサグナック位相差から区別することができず、かつ温度や圧力のような、ファイバの複屈折を変える環境要素に依存している。このように、ファイバの複屈折は回転感知における誤差を引き起こす。

【0049】偏光子32を伴う動作

ファイバの複屈折性による不可逆性動作の問題は、上述のように単一偏光モードのみを利用する偏光子32(図1)によって解決される。このように、図5の参照番号84によって指定された場所において偏光子32がシステムに導入されると、偏光子32を介する光入力は、所

望の偏光モードでループ14の中に伝播していく。さらに、互いに反対方向に伝播する波が再結合されて光学出力信号を形成するときに、ループに与えられた光と同一の偏光ではないどのような光も光検出器30に到達することを妨げられるが、これは光学出力信号が、それが結合器34のポートAから結合器26のポートBへ通過するときに、さらに偏光子32を介して通過することによるものである。このように、光学出力信号は、それが検出器30へ到達するときに、ループに与えられた光と正確に同一の偏光を有することになる。それゆえに、同一の偏光子32を介して入力光および光学出力信号を通過させることによって、単一の光学経路のみが利用され、これによって複屈折性によって生じた位相差の問題を排除することができる。さらに、偏光コントローラ24、36(図1)が各々、与えられた光および光学出力信号の偏光を調整するために使用され、さらに偏光子32における光学パワーの損失を減少させ、したがって検出器30における信号強度を最大にするということに注意しなければならない。

【0050】位相変調器38を伴う動作

図6を再び参照すると、曲線80は余弦関数であるので、光学出力信号の強度は、波W1およびW2の間の小さな位相差(ϕ_{ws})に対して非線形であることがわかるであろう。さらに、光学出力信号強度は、位相差における変化、すなわち小さな値 ϕ_{ws} に対して比較的の不感性である。そのような非線形性および不感性は、検出器30によって測定された光強度(i₁)をループ14の回転速度 Ω (方程式1)を示す信号に変換することを困難にしている。

【0051】さらに、波W1およびW2の間の複屈折性によって引き起こされた位相差は上述のように偏光子32を使用することによって取除かれるが、偏光子32によって光が光検出器30に到達することが妨げられるので、ファイバの複屈折性はまた光学出力信号の光学的強度における減少を引き起こす。このように、ファイバの複屈折性における変化は図6の曲線80の振幅をたとえば曲線84によって示されるように変化させる。

【0052】前述の問題点は、図1に示された位相変調器38、信号発生器40、およびロックイン増幅器46を利用する同期式検出システムによって解決される。図7を参照すると、位相変調器38は、信号発生器40の周波数において、伝播する波W1およびW2の各々の位相を変調する。しかしながら、図1からわかるように、位相変調器38はループ14の一方の端部に位置している。したがって、波W1の変調は、波W2の変調とは必ずしも同位相ではない。実際、この同期式検出システムの適正な動作のために、波W1およびW2の変調が異なる位相が行なわれることが必要である。図7を参照す*

$$f_m = \frac{C}{2n_{eq}L}$$

【0054】ここで、Lは、互いに反対方向に伝播する波W1およびW2に対する、結合器34および変調器38の間のファイバの長さの差であり（すなわち、変調器38と、ループ14の他の側部上における対称点との間でファイバに沿って測定された距離）； n_{eq} は、単一モードファイバ12に対する等しい屈折率であり、そしてcは、ループ14に与えられた光の自由空間速度である。

【0055】この変調周波数（ f_m ）において、反対方向に伝播する波W1およびW2の曲線90および92に従う位相変調によるこれらの波の間の位相差（ ϕ_{wm} ）は、図7の正弦曲線94によって描かれている。そのような位相変調 ϕ_{wm} は、回転的に誘起されたサグナック位相差 ϕ_{wm} から区別することができないので、波W1およびW2の間の位相差は、図6の曲線80に従って、光学出力信号の強度（ I_r ）を変調する。

$$\phi_w = \phi_{ws} + \phi_{wm}$$

【0058】したがって、回転的に誘起された位相差 ϕ_{ws} と同様に、変調誘起された位相差 ϕ_{wm} の影響は、図8および図9を参照して考えられるので、曲線80に対する水平軸は ϕ_w として再び表示され、図6に示するような回転的に誘起された位相差のみが考慮されているというよりはむしろ、位相差の総計が考慮されているということを示している。

【0059】次に図8を参照すると、光学出力信号の強度 I_r （曲線80）に基づく、位相変調 ϕ_{wm} （曲線94）の影響が論ぜられている。図8において、ループ14は休止状態にあり、したがって、光学信号はサグナック効果の影響を受けていないものとする。特に、変調誘起された位相差曲線94は、その垂直軸に関して対称的な、曲線80に従って光学出力信号を変化させ、このため、検出器30によって測定された光学強度は、曲線96によって示されるように、変調周波数の第2の高調波に等しい周波数において周期的に変化する。上述のように、ロックイン増幅器46は信号発生器40（図1）に

＊ると、正弦曲線90によって表わされる波W1の変調が、曲線92によって表わされる波W2の変調と180°位相を異にすることが好ましい。波W2の変調に対するW1の変調の間のそのような180°の位相差をもたらす変調周波数の使用は、検出器30によって測定された光学出力信号における変調器誘起された振幅変調を除去するという点で特に有利である。この変調周波数（ f_m ）は、次の方程式を用いて計算される。

【0053】

【数3】

(3)

※【0056】以上のことは、（a）図7の曲線94によって規定される位相変調 ϕ_{wm} と、（b）図6の曲線80によって表わされた光学出力信号の強度（ I_r ）に基づくサグナック位相差 ϕ_{wm} との影響を図解的に表わしている。図8および図9を参照することによってより完全に理解されるであろう。しかしながら、図7および図8の議論を進める前に、変調された光学出力信号の強度（ I_r ）が、波W1およびW2の間の全位相差の関数であるということがまず理解されるべきである。さらに、そのような位相差の総計は、回転的に誘起されたサグナック位相差 ϕ_{ws} および時間によって変化する変調誘起された位相差 ϕ_{wm} の双方を含んでいる。このように、波W1およびW2の間の位相差の総計 ϕ_w は、次のように表現される。

【0057】

【数4】

(4)

よって能動化されて変調器38の変調周波数（すなわち、第1の高調波）において検出器出力信号を同期的に検出するので、そして検出器出力信号は曲線96によって示されるように変調周波数の第2の高調波にあるので、増幅器出力信号は0となり、かつディスプレイ47は回転速度が0であることを示す。図6の曲線84を参照して論じたように、たとえ複屈折誘起された振幅変動が光学出力信号において発生するとしても、図8の曲線96は図2の高調波周波数に落ち込むことに注意すべきである。このように、そのような複屈折誘起された振幅変動は増幅器46の出力信号に影響を及ぼさない。それゆえに検出システムは、常にループ14が休止状態にあるときに、複屈折における変化に対し不感性的である実質的に安定な動作点を提供する。

【0060】ループ14が回転されたときに、互いに反対方向に伝播する波W1およびW2は、サグナック効果に従って、上述のように同位相で偏移される。サグナック位相偏移は、変調器38によって作り出された位相差

ϕ_{wm} に加わる位相差 ϕ_{ws} を与え、このため、曲線94全体は、図8に示された位置から図9に示された位置へ、 ϕ_{ws} に等しい大きさだけ、同位相で移される。これは、曲線80に従って光学出力信号を非対称形に変化させ、これによって図9の曲線96によって示されるようにこの信号を高調波的に曲げ、これによってこの信号が、正弦曲線98によって破線で示されるように、変調器38の基本(すなわち、第1の高調波)周波数における成分を含むようになる。この正弦曲線98のRMS値は、回転的に誘起された、サグナック位相差 ϕ_{ws} の正弦関数に

【0061】図9は、ループ14の回転の1つの方向(たとえば右回り)に対する光学出力信号の強度波形を示している。しかしながら、ループ14が等しい速度で反対方向(たとえば左回り)に回転させられたとすると、光学出力信号の強度波形96は、曲線98が図9に示される位置から180°だけ偏移されるように移されることを除いて、図9に示される波形と正確に同一のものとなる。ロックイン増幅器46は、その位相を信号発生器40からの基準信号の位相と比較することによって、曲線98に対するこの180°の位相差を検出し、ループの回転が右回りかあるいは左回りかを判断する。回転の方向に依存して、増幅器46は、正または負の信号のいずれかをディスプレイ47へ出力する。しかしながら、回転の方向に関係なく、信号の大きさはループ14の等しい回転速度に対しては同一である。

【0062】増幅器出力信号の波形は、曲線100として図10に示されている。この曲線100は正弦関数であり、かつループ14の回転が右回りかあるいは左回りかによって、0の回転速度から正方向または負方向に変化する。さらに、曲線100は、起点から対称形に変化しかつ回転を測定するための相対的に広い動作速度を提供する、実質的に線形の部分102を有している。さらに、曲線100の傾斜は、その線形動作範囲102を通じて特に優れた感度をもたらす。

【0063】このように、同期式検出システムを利用することによって、上述の、非線形性、不感度、および復屈折誘起された振幅変動の問題点が緩和されあるいは排除される。この検出システムの他の長所は、変調器38*

のような現在の技術による位相変調器が、偏光変調を介して直接にまたは間接に、光学出力信号における振幅変動を引起こすという事実に関する。しかしながら、波W1およびW2の変調の間の位相差が180°である特定の周波数において動作することによって、反対方向に伝播する波W1およびW2の各々において変調器38によって誘起された、振幅変調の奇数の高調波周波数成分が、波が重なり合って光学出力信号を形成するときに互いに消し合うということが、方程式3を採用する議論から思い出されるであろう。したがって、上述の検出システムは、光学出力信号の奇数の高調波(すなわち、基本周波数)のみを検出するので、振幅変調の影響が排除される。それゆえに、方程式3によって規定された特定の周波数において動作することによって、および光学出力信号の奇数の高調波のみを検出することによって、この発明の回転センサは、変調誘起された振幅および偏光変調から独立して動作する。

【0064】特定の周波数で動作することの他の利点は、反対方向に伝播する位相W1およびW2の各々において変調器38によって誘起された、位相変調の偶数高調波が、これらの波が重なり合って光学出力信号を形成するときに、互いに消し合うということである。これらの偶数の高調波は、光学出力信号においてそうでなければこの検出システムによって検出される見かけ上の奇数の高調波を発生するので、これらの除去は回転感知の精度を改善する。

【0065】方程式3によって規定される周波数において位相変調器38を動作することに加えて、位相変調の大きさを調整して、これによって光学出力信号強度の検出された第1の高調波の振幅が最大になるようにすることがまた好ましいが、これは、改善された回転感知感度および精度をもたらすためである。図7、図8および図9において2で表示された長さによって示された、波W1およびW2の間の変調器誘起された位相差の振幅が1.84ラジアンのときに、任意の回転速度に対して、光学出力信号強度の第1の高調波が最大になるということが知られている。これは、各々独自の強度 I_1 、および I_2 を有し、その間の位相差が ϕ_w である、2つの重ね合わされた波の全体の強度(I_t)に対する、以下の方程式を通じてより完全に理解されるであろう。

【0066】

【数5】

$$I_t = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \phi_w \quad (5)$$

【0067】ここで: ※ ※ 【数6】

$$\phi_w = \phi_{ws} + \phi_{wm} \quad (6)$$

【0068】かつ 【数7】

$$\phi_{wm} = z \sin(2\pi f_m t)$$

【0069】したがって、
【数8】

$$\phi_w = \phi_{ws} + z \sin(2\pi f_m t) \quad (*)$$

*

$$\begin{aligned} \cos \phi_w &= \cos \phi_{ws} \left\{ J_0(z) + 2 \sum_{n=1}^{\infty} J_{2n}(z) \cos[2\pi(2n f_m t)] \right\} \\ -\sin \phi_{ws} &\left\{ 2 \sum_{n=1}^{\infty} J_{2n-1}(z) \sin[2\pi(2n-1)f_m t] \right\} \end{aligned} \quad (9)$$

【0071】ここで、 $J_n(z)$ は、変数 z の n 次ベッセル関数であり、 z は波 $W1$ および $W2$ の間の変調器誘起された位相差の最大振幅である。それゆえに、 I_T の第1の高調波のみを検出することは、次のことを生じさせ※

$$I_T(t) = 4 \sqrt{I_1 I_2} J_1(z) \sin \phi_{ws} \sin(2\pi f_m t) \quad (10)$$

【0073】このように、光学出力信号強度の第1の高調波の振幅は、1次ベッセル関数 $J_1(z)$ の値に依存している。 z が1.84ラジアンに等しいときに、 $J_1(z)$ は最大となるので、位相変調の振幅は好ましくは、波 $W1$ および $W2$ の間の変調器誘起された位相差 (z) の大きさが1.84ラジアンであるように選択される。

【0074】後方散乱の影響を小さくする

周知のように、現在の技術による光ファイバは、光学的には完全ではないが、少量の光の散乱を起こさせるという欠点を有している。この現象は、一般的にレイリーの散乱と言われている。そのような散乱はいくらかの光をファイバから消失させるが、そのような損失の量は比較的小さく、それゆえに大きな関心事ではない。レイリー散乱に関する主な問題点は、散乱され失われた光に関するものではなく、むしろ反射されて元来の伝播の方向に対して反対の方向にファイバを通して伝播する光に関するものである。これは一般には“後方散乱”光と言われている。そのような後方散乱光は、互いに反対方向に伝播する波 $W1$ および $W2$ を含む光とコヒーレントであるので、それは、そのような伝播する波と建設的にまたは破壊的に干渉し、そしてそれによってシステムに“ノイズ”、すなわち検出器30によって測定されたように、光学出力信号の強度における見かけ上の変化を起こさせる。

【0075】後方散乱された波および伝播する波の間の破壊的または建設的な干渉は、ファイバループ14の中心における付加的な位相変調器39によって緩和される。この位相変調器は信号発生器（図示せず）によって駆動されるが、これは変調器38とは同期していない。

【0076】伝播する波、ループに沿って通過するとき、ただ1度だけこの付加的な位相変調器39を通過する。伝播する波が付加的な変調器に到達する前にこの波

※る：

【0072】
【数10】

から発生する後方散乱に対して、後方散乱はこの付加的な変調器によって位相変調されないが、これはその光源の伝播する波または後方散乱自体のいずれもが付加的な変調器を通過しないためである。

【0077】一方で、伝播している波がこの付加的な位相変調器を介して通過した後に、この波から生じる後方散乱に対して、伝播する波が付加的な位相変調器を通過し、かつ後方散乱が付加的な変調器を介して通過する度に、後方散乱が効果的に2回位相変調される。

【0078】このように、もしも付加的な位相変調器が $\phi(t)$ の位相偏移を導入するならば、ループ14の中心を除くどの点からでも始まる後方散乱波は、0または $2\phi(t)$ のいずれかの位相偏移を有し、これらのいずれかは伝播する波に対する $\phi(t)$ 位相偏移に関して時間によって変化する。この時間で変化する干渉は時間全体に対する平均を出力し、後方散乱された光の影響を効果的に取除く。

【0079】カー効果補償

前述のように、カー効果とは変化する電界の中で物質の屈折率が変化するという現象をいう。非線形の媒体中において、光学的カー効果は、各々反対方向に伝播する波に対する等しくない位相遅延を誘起する。ファイバ12のような石英ガラス光学ファイバは十分に非線形であり、ファイバ光学回転センサにおいてカー誘起された位相差は、サグナック効果による位相差よりもはるかに大きくなる。

【0080】光学カー効果はそれ自体、ファイバ12の伝播定数の強度に依存する振動であることを表わしている。伝播定数の振動は、2つの反対方向に伝播する波の偏光の状態の関数である。それゆえに、ファイバ回転センサにおいて、反対方向に伝播する波の偏光の状態が同一であることが好ましい。偏光子32は、ループ14における1つの単一偏光モードのみを利用させる。それゆ

(7)

*【0070】 $\cos \phi_w$ のフーリエ展開は：
【数9】

えに、カーの以下の分析において、反対方向に伝播する波は、同一で、線形の偏光を有するものとする。

【0081】反対方向に伝播する波の伝播定数の振動 *

$$\beta K_2(z,t) = \frac{2\pi\eta n}{\lambda} \delta \{ I_1(z,t) + 2I_2(z,t) \} \quad (11)$$

【0083】

※ ※ 【数12】

$$\beta K_2(z,t) = \frac{2\pi\eta n}{\lambda} \delta \{ I_1(z,t) + 2I_2(z,t) \} \quad (12)$$

【0084】ここで、 η は媒体のインピーダンスであり、 λ は真空中における波の波長であり、 n は媒体のカー係数であり、 δ は、ファイバ12における光モードの通過分布に依存するオーダ・ユニティ (order unity) の要素である。 $I_1(z,t)$ および $I_2(z,t)$ は、波の通過のピーク強度であり、これらはループに沿った配置および時間に依存する。

【0085】方程式11および12の重要な特徴は、波2の強度が波1の伝播定数に波1の強度がそれ自体に与える影響の2倍の影響を与えるということを示す。 I_1 、および I_2 の間のファクタである。“セルフイフェクト (self effect)” なる用語はここでは、同一の光波によって見られる伝播定数に基づいて光波の差異が有する効果を示すために用いられる。“クロスイフェクト (cross effect)” という用語はここでは、反対方向に伝播する他の光波の電界によって引き起こされる光波の伝播定数における変化をいうために用いられる。方程式12を参照すると、波2の伝播定数に基づく波1のクロスイフェクトは波2のセルフイフェクトの2倍である。セルフイフェクトの2倍であるこのクロスイフェクトは、感度 I_1 、および I_2 が同じでないならば、伝播定数の振動を異なるものにするることによって不可逆性を増大させる。もしこれらの振動が単に2つの強度の合計に依存するものであれば、不可逆性は生ぜず、さらに、 $I_1 + 2I_2 = I_2 + 2I_1$ 、であるために、強度 I_1 および I_2 が同じならば、不可逆性は生じない。

【0086】伝播速度は伝播定数の関数であるので、不可逆性は2つの波W1およびW2の伝播速度を異なったものにする。それゆえに、波W1およびW2のうちの1方は、他方よりもより速い速度でループ14を通過し、これによって、結合器34において波W1およびW2の間の位相差を作り出す。カー効果誘起された位相差は、回転的に誘起された位相差と区別することができず、そのため見かけ上の回転信号をもたらす。

【0087】オブジェクトスレータズの第7巻第6号 (1982年6月) の282頁ないし284頁において説明され、援用されてここに含まれるように、特定の波形に従う。波W1およびW2の変調は、クロスイフェクトの相対的な影響を緩和または除去するのに役立つ。その論文によると、波W1およびW2が伝播するときに、クロスイフェクトは、カー効果によって誘起された位相差を増大するためには特に重要である。カー効果によって

*は、以下のように表わされる：

【0082】

【数11】

引き起こされた位相偏移を制御するために変調を使用することは、図11を参照してより容易に理解されるが、この図11は、1対の方形波に強度変調された反対方向に伝播する光波を示しており、その各々は50%のデューティサイクルを有している。このクロスイフェクトは、2つの波W1およびW2の強度のピークが一致するときに現われ、それ以外の場合には現われず、かつ各々の波W1およびW2は、セルフイフェクトのみを受ける。波W1およびW2の各部分は、常にセルフイフェクトを受け、かつ50%のデューティサイクルのために、半分の時間はクロスイフェクトを受ける。それゆえに、方程式11および12における2のファクタは、単一の平均値まで減少し、これによって不可逆性を効果的に打消す。周期の半分にわたって積算された不可逆性の位相は、完全な補償を得るために、パルス列のデューティサイクルにおける調整によって積算された反対の符号を有する不可逆性の位相によって補償される。さらに図11を参照すると、図解のために、波W1はいくつかの任意のユニットにおいて3のピーク強度を有し、一方で波W2は同じユニットで1のピーク強度を有するものとする。ピーク強度に対応する方形波の部分は、山の部分として示され、かつ0強度における方形波の部分はここでは谷の部分として示されている。

【0088】カー効果のために、任意の波の谷の部分によって示される伝播定数は、同一の波の山の部分によって示される伝播定数とは異なったものになる。この特定の例において、谷の部分における波の強度は無視することができ、かつそれは回転速度誤差に関係しないので、無視される。したがって、この例において、山の部分によって示される伝播定数のみが波の強度加重された平均位相偏移を決定するために調べられる必要がある。

【0089】カー効果のために、波W1またはW2のいずれかの山の部分の伝播定数は、接近してくる波の連続的な山および谷の部分を通して波が移動するにつれて変化する。たとえば、図11のポイントAにおけるように、波W1につれて移動する波W1の山の部分の任意の基準点において観測すると、ポイントAが接近してくる波W2の山の部分にあるときにその観測者によって見出される伝播定数は第1の値にあり、かつポイントAが接近してくる波W2の谷の部分にあるときに第2の値となる。波W2のデューティサイクルが50%なので、そして観測者がこの波の山の部分と谷の部分等を等しい時間観

察するので、波W1の平均伝播定数（たとえばポイントAにおいて観測者によって見出される）は、単にこれらの第1および第2の値の総計の平均となる。波W2につれてその山の部分において移動する観測者に対する状態は、図11の基準点Bにおける場合と類似している。波W2の伝播定数（たとえばポイントBの観測者によって見出される）は、それが接近してくる波W1の連続的な山および谷の部分を通過するにつれて第1および第2の値の間で変化する。すなわち、ポイントBが波W1の山の部分にあるときに伝播定数は第1の値となり、かつポイントBが波W1の谷の部分にあるときに第2の値となる。波W1はまた50%のデューティサイクルを有しているので、波W2の平均伝播定数（たとえばポイントBの観測者による）は、これらの第1および第2の値の総和

$$\Delta\beta_1 = K(I_1 + 2I_2)$$

【0092】しかしながら、ポイントAが接近してくる波W2の谷の部分にあるときに、ポイントAにおける波W1によって見出された伝播定数（ β_1 ）におけるカー誘起※

$$\Delta\beta_1 = K(I_1)$$

【0094】ここで、 I_1 および I_2 は各々、波W1およびW2の強度である。定数Kは比例定数として含まれている。方程式11aおよび12aから、予想されるように、波W1のポイントAが接近してくる波W2の山の部分にあるときに、セルフイフェクト（W1による）およびクロスイフェクト（W2による）の双方が存在し、一方で、ポイントAが接近してくる波の谷の部分にあるときに、セルフイフェクトのみが存在するということがわかるであろう。

【0095】適当な値を方程式11aおよび12aに代★30

$$\Delta\beta_2 = K(I_2 + 2I_1)$$

【0098】しかしながら、波W2のポイントBが、接近してくる波W1の谷の部分にあるときに、伝播定数における変化は、次のように定義される。 ☆

$$\Delta\beta_2 = K(I_2)$$

【0100】適当な強度の値を方程式13に代入すると、ポイントBが、接近してくる波の山の部分にあるときの伝播定数における変化は6kに等しくなる。同様に、方程式14を用いて、ポイントBが接近してくる波の谷の部分にあるときに伝播定数における変化が1kに等しいことが見出される。このデューティサイクルは50%なので、そして波W2は等しい時間の間各伝播定数を有しているので、平均伝播定数は単に、1k+7kの平均、すなわち再度4kとなる。

【0101】それゆえに、上述の例における波W1およびW2の各々の強度がたとえ全く異なるものであっても、各々の波に対する伝播定数の平均変化は方形波変調

＊計の平均である。波W1に対する第1および第2の値は波W2に対するこれらの値とは異なるが、しかしながらカー効果は完全に消滅されれば、波W1およびW2に対する平均伝播定数は同一となるということは注目されるべきである。

【0090】波W1およびW2の各々に対する伝播定数における、平均のカー誘起された変化は、図11を参照して上述された例に対して計算される。波W1に対して、ポイントAが接近してくる波W2の山の部分にあるときに、たとえばポイントAにおいて見出される伝播定数（ $\Delta\beta_1$ ）におけるカー誘起された変化は、次のように定義される。

【0091】

【数13】

(11a)

※起された変化は次のとおりである。

【0093】

【数14】

(12a)

★入することによって、ポイントAが山の部分にあるときに、伝播定数における変化が5kに等しく、かつ谷の部分にあるときに、屈折率における変化が3kであるということが見出される。このように、波W1の平均伝播定数は4kに等しい。

【0096】波W2に対して、ポイントBが接近してくる波W1の山の部分にあるときに伝播定数における変化は次のように定義される。

【0097】

【数15】

(13)

☆【0099】

【数16】

(14)

の全期間にわたって同一（たとえば、4k）である。波W1およびW2に対する他の強度を用いても同一の結果を得るであろう。

【0102】好ましい実施例の回転センサに対するカー誘起された回転速度誤差 Ωk は、各々の波の間の位相差の強度加重された平均の関数である。また、上述の検出システムは、不可逆性（カー誘起された）位相偏移の強度加重平均に比例する信号を供給する。したがって、カー誘起された回転速度誤差は数学的に次のように表わされる。

【0103】

【数17】

$$\Omega_K = \frac{c}{R} \eta n \delta (1 - 2K) \frac{\langle I_0^2(t) \rangle - 2 \langle I_0(t) \rangle^2}{\langle I_0(t) \rangle} \quad (15)$$

【0104】ここでcは、真空中における光の速度であり、Rは、ファイバコイルの半径であり、 η は媒体のインピーダンスであり、nは媒体の力率係数であり、 δ はモードの横方向分布に依存する単位のアダに関するファクタであり、Kは結合比率であり、 $I_0(t)$ は、時間の関数としての変調された光源波の強度である。 $\langle \rangle$ は、時間に対する平均を示す。

【0105】好ましい実施例の回転センサに対する力率誘起された回転速度誤差 Ω_K は、各々の波の間の位相差の強度加重平均の関数である。また、上述の検出システムは、不可逆性（力率誘起された）位相偏移の強度加重平均に比例する信号を供給する。

【0106】方程式15に戻ると、力率効果によって引起される不可逆性動作は、分割の比率が0.5でありかつ波W1およびW2が強度において等しくなるように結合器34を調整することによって、少なくとも理論的には取除かれる。しかしながら、慣性航法に適用することのできるだけの十分な力率補償を達成するためには、0.001°/時間の精度を必要とし、結合器34の分*

$$\Omega_K \langle I^2(t) \rangle_T - 2 \langle I(t) \rangle \langle I(t) \rangle_T \quad (17)$$

【0109】ここで、 $\langle \rangle$ は、小さな文字で示された時間間隔、Tまたは2 τ にわたる時間平均を示し、Tは検出システムの積分時間であり、かつ τ はファイバループ14に沿った光の通過時間である。平均強度が時間2 \times

$$\Omega_K \langle I^2(t) \rangle - 2 \langle I(t) \rangle^2 \quad (18)$$

【0111】以下において、 $I(t)$ は時間に従ってランダムに変化する確率過程であり、 $I(t)$ の平均値は時間に関しては定数であり、さらに $I(t)$ は、どの特定の値の発生も等しくなるようにエルゴードであるもの★

$$\sigma_I^2 = \overline{I^2} - \overline{I}^2 \quad (19)$$

【0113】ここで置の上のバーは集団平均または平均値を示す。

$$\Omega_K \sigma_I^2 = \overline{I^2} - \overline{I}^2 \quad (20)$$

【0114】これは、標準偏差、 σ_I が強度の平均値 \overline{I} に等しいならば、力率効果によって生じる回転速度誤差がなくなること示す。超発光ダイオードによって出力されるような、偏光された熱光線は $\sigma_I = \overline{I}$ の条件を満たす。それゆえに、偏光された熱光線はサグナック効果に感応しない回転センサを提供するために用いられる。

【0115】周知の数学的な関係である、中心制限原理◆

$$P(I) = \begin{cases} \frac{1}{I} \exp\left(-\frac{I}{\overline{I}}\right) & I > 0 \\ 0 & I < 0 \end{cases} \quad (21)$$

* 割の比率が、CW光源を想定した場合、 0.5×10^{-4} の大きさのオーダの許容誤差内に調整される必要があるものと推定される。実際に、実験室の条件下においてさえ、このことは不可能であり、あるいは少なくとも非現実的であると思われる。実験室の条件下において最も良好に達成され得る許容誤差は、わずかに約、 5×10^{-3} であり、これは多くの応用に対して十分な力率補償をもたらさない。さらに、そのような許容誤差を維持することは非常に困難であり、特に、航空機のジャイロスコープのように、干渉計が振動や他の物理的妨害を受けやすい商業的応用においては非常に困難である。

【0107】熱源を伴う力率補償

ここで説明された装置を使用し、かつこの発明の方法に従うときに、大規模な光源10は回転センサにおける力率効果誘起誤差のための補償を必要とする強度の変化をもたらす。回転速度誤差 Ω_K および光源の強度 $I(t)$ の間の関係は以下のとおりである。

【0108】

【数18】

※ τ にわたって確立されるものとする。方程式17は次のようになる。

【0110】

【数19】

30★とする。 $I = I(t)$ と定義し、かつ変数を識別することによって、方程式18は次のように書換えられる。

【0112】

【数20】

☆【数21】

40◆によって、偏光された熱光線の振幅は、円形の複雑なガウスランダムプロセスである。対応する強度は、以下に規定される指数確率密度を伴うランダムプロセスである。

【0116】

【数22】

【0117】偏光された熱光線の強度の2次モーメント * 【0118】
は、 * 【数23】

$$\overline{I^2} = \int_0^\infty \frac{I^2}{I} \exp\left(-\frac{I}{I}\right) dI \quad (22)$$

【0119】であり、部分的な積分の後に、次のようになる。

【0120】

【数24】

$$\overline{I^2} = 2\overline{I}^2$$

【0121】それゆえに、方程式18を参照すると、ここで説明された回転感知装置に偏光された熱光線が用いられたときに、カー効果は、感知された回転速度に誤差を生じない。

【0122】多重モード光源を伴うカー効果

いくつかの振動モードまたは周波数を含むレーザ光、す※

$$A(t) = \sum_{n=1}^N A_n e^{i f(n) \omega t} \quad (24)$$

【0125】ここで、 A_n および $f(n)\omega$ は、各々 n 20★果が得られる。個々のモードの限定されたラインの幅を次振動モードの複合振幅および周波数であり、かつ N はキャビティが振動するモードまたは周波数の数である。もしもこのモードの各々の位相がランダムでありかつ十分に独立性を有していれば、分散することなく同様の結★

$$A(t) = \sum_{n=1}^N A_n e^{i(\omega + n\Delta\omega + n^2\delta\omega + \dots)t} \quad (25)$$

【0127】対応する強度は以下のとおりである。

【0128】

$$I(t) = A(t)A^*(t) = \sum_{n,m=1}^N A_n A_m e^{i[(n-m)\Delta\omega + (n^2-m^2)\delta\omega + \dots]t} \quad (26)$$

【0129】平均強度は、各項の平均の総計である。指数の平均は、

【0130】 $n=m$ でなければ、0であり、これは次の◆

$$\langle I(t) \rangle = \sum_{n=1}^N |A_n|^2 \quad (27)$$

【0132】強度の2乗は次のとおりである。

【0133】

$$I^2(t) = \sum_{n,m,l,k=1}^N A_n A_m A_l A_k e^{i[(n+m+l-k)\Delta\omega + (n^2-m^2+l^2-k^2)\delta\omega + \dots]t} \quad (28)$$

【0134】指数の時間平均は、 $n-m+l-k=0$ かつ $n^2-m^2+l^2-k^2=0$ でなければ、0である。 $n=m$ となる可能性に対して、 $I(t) \neq 0$ となるためには $l=k$ であることが要求される。もしも $n \neq m$ であれば、 $I(t) \neq 0$ であるために、 $n=k$ でありかつ m

※なわち多重モードレーザはまた、ここで説明された回転感知装置に使用され、単一周波数の変調されていない光によって可能な回転速度誤差よりも低い回転速度誤差をもたらす。

【0123】レーザキャビティ（図示せず）は、ダイオードレーザの場合と同様に、レーザ振動モードが周波数において等しく配置されないように分散される。分散された場合の光の振幅は個別モードのコントリビューション（contribution）の総計であり、次のように表わされる。

【0124】

【数25】

20★果が得られる。個々のモードの限定されたラインの幅を無視し、かつ $f(n)$ をテイラー級数で展開すると次のようになる。

【0126】

【数26】

☆【数27】

☆

◆式を導く。

【0131】

【数28】

*40

=1であることが要求される。 n, m, l および k に関する上述の制限は、方程式28における指数関数のすべての項をなくし、次の式を与える。

【0135】

【数30】

$$\langle I^2(t) \rangle = \sum_{n=1}^N |A_n|^2 |A_1|^2 + \sum_{n,m=1}^N |A_n|^2 |A_m|^2 - \sum_{n=1}^N |A_n|^4 \quad (28)$$

【0136】これはまた次のように表わされる。 *【数31】

【0137】 *

$$\langle I^2(t) \rangle = 2 \langle I(t) \rangle^2 - \sum_{n=1}^N |A_n|^4 \quad (29)$$

【0138】以上のことは、時間に関して振幅が定数であることを仮定する。方程式30に適用するために時間平均された値が決定される限定された回数を計数するために、

【0139】

【数32】

$$2 \leq t \leq 1 \text{ の } \tau \leq T \gg 1$$

※

$$|A_n|^2 = \frac{1}{N} |A|^2 \quad (31)$$

【0142】のように、Nが振幅モードに等しい場合の考察は、次の結果をもたらす。 ★【0143】

★26 【数34】

$$\frac{\langle I^2(t) \rangle - 2 \langle I(t) \rangle^2}{\langle I(t) \rangle^2} = -\frac{1}{N} \quad (32)$$

【0144】これは、カー誘起された回転速度誤差がレーザの振動モードの数に反比例することを示している。

【0145】実験結果

ここで説明された回転センサの実際のモデルは、光源10としてGaAsレーザダイオードを使用した。この特定のレーザダイオードは、50以上の振動モードと、レーザ出力スペクトルの最大パワーポイントの半分の幅の全体における10以上の振動モードとを有している。光源10は、平均で約120mWのパワーをファイバ12に導入し、そして約10mWのパワーが検出器30によって受取られた。

【0146】ループ14において反対方向に伝播する波のパワーの相対的な量は、結合器34の結合比率Kを調節することによって調整される。もしも、反対方向に伝播する波の強度が時間において一定であれば、回転センサはほぼ10°/時間にも及ぶ光学的カー効果による回転速度誤差を生じることになる。上述の多重モードレーザが光源10として使用されたときには、そのような誤差は測定精度の限度内で観測されない。実験的精度の範囲内で、強度が変動する光源10は、一定の強度の光源に対して予測される誤差の1%以下である、カー誘起された回転速度誤差を生じた。

【0147】反対方向に伝播する波の偏光を変化させるために偏光コントローラ36を調整することは、カー誘起された回転速度誤差を生じず、これはこの発明の装置および方法を使用するカー効果補償が偏光とは無関係であるという理論上の予測と一致する。

【0148】図12は、この発明の回転感知装置からの5時間にわたる回転信号を描いている。図12は、この発明がファイバ光学回転感知システムの長期間の安定性において実質的な改良をもたらすことを示している。ちょうど0.1°/時間のずれは、これは地球の回転速度の約1%であるが、光源10を消すことによって測定されるように、コイル14の軸の配向における不正確さを反映しており、この軸は、地球の回転の軸に対して直角になるべきである。この曲線は0.02°/時間のRMSの短期間のノイズの値を示し、これはシステムの電子回路によるものである。

【0149】もしも光源10が、満足できるカー効果補償を生ずるだけの十分な数の振動モードを有する出力を与えなければ、変調器13は光源10とレンズ15との間に配置されるべきである。通常、変調器13は、50%のデューティサイクルを有する、反対方向に伝播する光波がループ14に結合されるように光源10の出力を変調する。

【0150】たとえば、光源10が、互いに打消し合って67%のデューティサイクルを有する、2つの周波数を出力すれば、変調器13はデューティサイクルを50%に減少させるように変調する。そのような変調は、光源10の出力の方形波変調によってもたらされる。

【図面の簡単な説明】

この発明のこれらのそして他の長所は、以下の図面を参照することによって最もよく理解される。

【図1】図1は、この発明の回転センサの概略図であ

り、ファイバ光学材料の連続的な、とぎれないストランドに沿って配置されたファイバ光学構成部分を示し、さらに、検出システムに関連する、信号発生器、光検出器、ロックイン(Lock-in)増幅器、およびディスプレイを示している。

【図2】図2は、図1の回転感知干渉計に使用するファイバ光学方向性結合器の一実施例の断面図である。

【図3】図3は、図1の回転センサに使用するファイバ光学偏光子の一実施例の断面図である。

【図4】図4は、図1の回転センサに使用するファイバ光学偏光コントローラの一実施例の斜視図である。

【図5】図5は、図1の回転センサの概略図であり、偏光子、偏光コントローラおよび位相変調器がそこから除かれている。

【図6】図6は、回転的に誘起されたサグナック位相差の関数として光検出器によって測定された光学出力信号の強度のグラフであり、複屈折誘起された位相差および複屈折誘起された振幅の変動の影響を表わしている。

【図7】図7は、時間の関数としての位相差のグラフであり、互いに反対方向に伝播する波の各々の位相変調を*

および反対方向に伝播する波の間の位相差を示している。

【図8】図8は、ループが静止状態にあるときに、検出器によって測定された光学出力信号の強度に基づく位相変調の影響を表わす概略図である。

【図9】図9は、ループが回転しているときに、検出器によって測定された、光学出力信号の強度に基づく位相変調の影響を示す概略図である。

【図10】図10は、回転的に誘起されたサグナック位相差の関数として増幅器の出力信号のグラフであり、図1の回転センサに対する動作範囲を示している。

【図11】図11は、1対の方形波、すなわちファイバ光学材料のループを通して反対方向に伝播し、かつ実質的に類似していないピーク強度を有する、強度変調された光波の簡略化された概略図であり、強度に依存する力-効果値を示している。

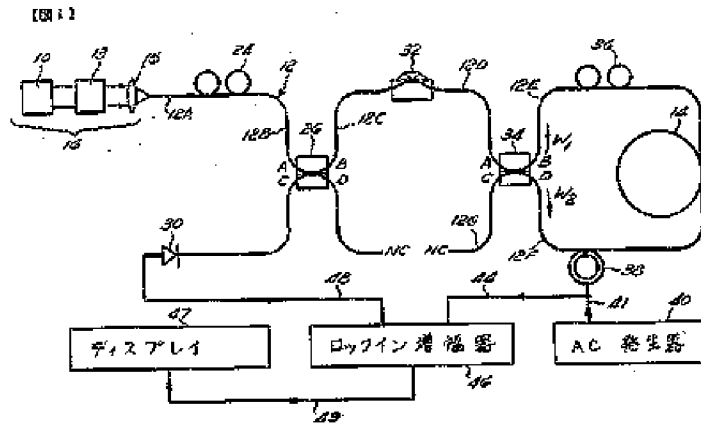
【図12】図12は、この発明の装置および方法で得られた実験の結果を表わすグラフである。

【符号の説明】

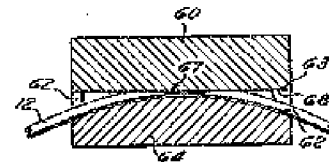
10 光源

14 干渉計

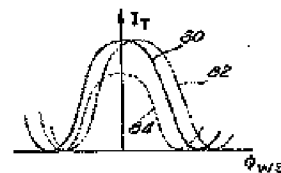
【図1】



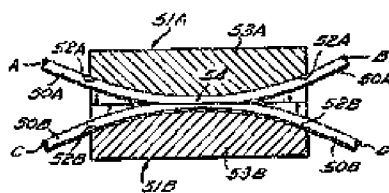
【図3】



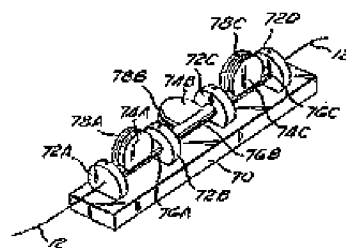
【図6】



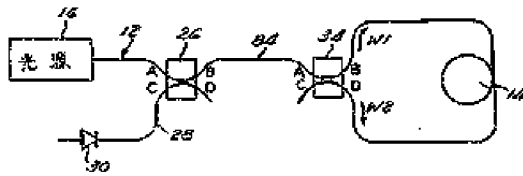
【図2】



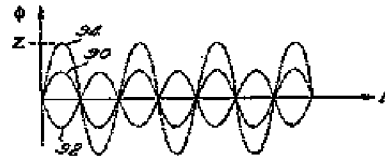
【図4】



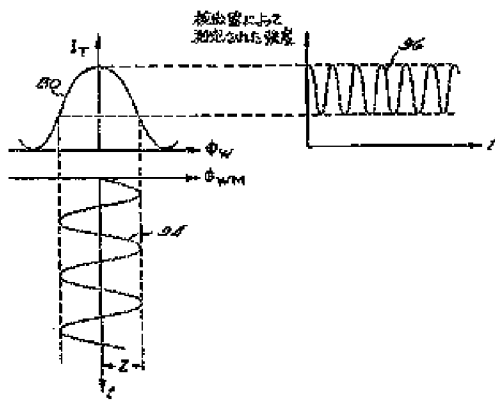
【図5】



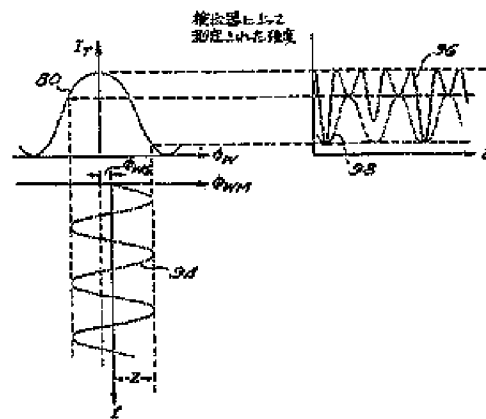
【図7】



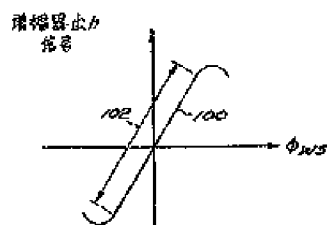
【図8】



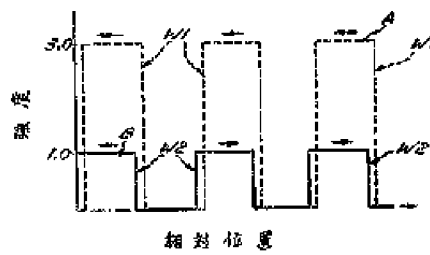
【図9】



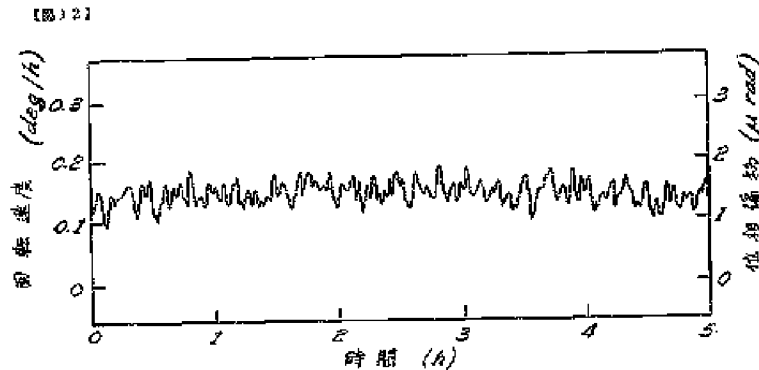
【図10】



【図11】



【図12】



【手続修正書】

【提出日】平成6年3月18日

【手続修正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】特許請求の範囲

【補正方法】変更

【補正内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】 カー効果に起因した回転速度誤差を減少させたファイバ光学干渉計であって、モード各々の光信号の和であり複数の周波数を有する総和光信号を放射する光源（10）、ファイバ光学材料からなるループ（14）、及び該ループを反対方向に伝播する第1と第2の光波を該ループに導入するよう該光源からの光を該ループに結合する結合器（34）とからなり、該総和光信号は該多重モード光源から光路に沿って該結合器へと伝達されているファイバ光学干渉計において該総和光信号が、該光源の出力スペクトルの最大パワーポイントの半値幅内に複数の周波数を有することで、該結合器の結合比が0.5001以上又は0.4999以下の時でも該カー効果誤差が0.1°/時間以下とされているファイバ光学干渉計。

【請求項2】 請求項1に記載のファイバ光学干渉計において、該光源は離散的数のモードと約50%のデューティサイクルを有し、該デューティサイクルは該総和光信号の所与の平均強度に関する該カー効果に起因する回転速度誤差を減ずるのに十分な数のモードを選択することで達成されているファイバ光学干渉計。

【請求項3】 請求項1又は2に記載のファイバ光学干渉計において、該光源からの光の強度を変調する変調器（13）を含み、

該変調器は該光源から放射された光信号の変動と協働して該光波の平均伝播定数における差を更に減少させているファイバ光学干渉計。

【請求項4】 請求項3に記載のファイバ光学干渉計において、該変調器は該光源（10）からの光を受信するよう配置されているファイバ光学干渉計。

【請求項5】 請求項1、2、3又は4に記載のファイバ光学干渉計において、該ファイバ光学材料は該光源の複数の周波数に関し単一モードであるファイバ光学干渉計。

【請求項6】 請求項1～5の1に記載のファイバ光学干渉計において、該光源はその強度が統計的、静的及び動力的プロセスである変調された熱的光を放射しているファイバ光学干渉計。

【請求項7】 請求項1～6の1に記載のファイバ光学干渉計において、該光源（10）は超発光ダイオードであるファイバ光学干渉計。

【請求項8】 請求項1～7の1に記載のファイバ光学干渉計において、該光源（10）は、モード間で定まった位相関係を有する多重モード光源であるファイバ光学干渉計。

【請求項9】 請求項1～8の1に記載のファイバ光学干渉計において、該光源（10）はモード間でランダムな位相関係を有する多重モード光源であるファイバ光学干渉計。

【請求項10】 請求項1～9の1に記載のファイバ光学干渉計において、該光源（10）は少なくとも50の軸モードを有しているファイバ光学干渉計。

【請求項 11】 請求項 1～10 の 1 に記載のファイバ * ワーポイントの半値幅内に 10 以上の異なる周波数の振
光学干渉計において、該光源の出力スペクトルの最大パ* 動モードが含まれているファイバ光学干渉計。

フロントページの続き

(72)発明者 ショウ、ハーバート・ジョン
アメリカ合衆国、94305 カリフォルニア
州、スタンフォード アルバレイドウ・ロ
ウ、719

(72)発明者 ルフブル、エルブ・セ
フランス共和国、94401 オルセ、ペ・
ベ・10 ドメン・ドゥ・コルブヴィユ、ト
ムソン・セ・エス・エフ ラボラトワ
ル・サントラル・ドゥ・ルシエルシェ

(72)発明者 バーク、ラルフ・エイ
アメリカ合衆国、94303 カリフォルニア
州、パロ・アルト モーリノウ・アベニ
ュ、992

(72)発明者 カトラー、キャシアス・シー
アメリカ合衆国、94304 カリフォルニア
州、パロ・アルト、オーク・クリーク・ド
ライブ、1300 アpartment 318

(72)発明者 カルショウ、ブリアン
イギリス、ダブリュ・シィ・1 ロンドン
ゴウワ・ストリート (香地なし)
デパートメント・オブ・エレクトロニッ
ク・アンド・エレクトリカル エンジニア
リング・ユニバーシティ・カレッジ